



TUGAS AKHIR -TE 141599

**DESAIN KONTROLER CASCADE MENGGUNAKAN
METODE KONTROL OPTIMAL *LINIER QUADRATIC*
GAUSSIAN (LQG) UNTUK PENGENDALIAN KETINGGIAN
AIR DAN LAJU ALIRAN AIR PADA PROSES RIG 38-100**

M.Fadli Husaini
NRP 2214105045

Dosen Pembimbing
Eka Iskandar, ST., MT.
Ir. Rusdhianto Effendi, AK., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

***CASCADE CONTROLLER DESIGN USING METODE
CONTROL OPTIMAL LINIER QUADRATIC GAUSSIAN
(LQG) TO CONTROL THE WATER LEVEL AND
WATER FLOW RATE ON PROCESSES RIG 38-100***

M. Fadli Husaini
NRP 2214105045

Supervisor
Eka Iskandar, ST., MT.
Ir. Rusdhianto Effendi A.K., MT.

***DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016***

**DESAIN KONTROLER *CASCADE* MENGGUNAKAN METODE
KONTROL OPTIMAL *LINIER QUADRATIC GAUSSIAN* (LQG)
UNTUK PENGENDALIAN KETINGGIAN AIR DAN LAJU
ALIRAN AIR PADA *PLANT BASIC* PROSES RIG 38-100**


TUGAS AKHIR


**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Eka Iskandar, ST., MT.
NIP. 198005282008121001


Ir. Rusdhianto Effendi, AK., MT.
NIP. 195704241985021001



DESAIN KONTROLER CASCADE MENGGUNAKAN KONTROL OPTIMAL LINIER QUADRATIC GAUSSIAN (LQG) UNTUK PENGENDALIAN KETINGGIAN AIR DAN LAJU ALIRAN AIR PADA PLANT BASIC PROSES RIG 38-100

Nama : M. Fadli Husaini
Dosen Pembimbing I : Eka Iskandar, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Ir.Rusdhianto Effendi AK., MT.

ABSTRAK

Pada rencana tugas akhir ini dilakukan untuk merancang sistem kontrol yang mampu menjaga ketinggian air dan Laju Aliran Air *water level* pada nilai normal setpoint meskipun terjadi perubahan beban maupun masukan pada sistem. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga keamanan dan efisiensi kerja *water level*. sistem nonlinier muncul pada implementasi pengaturan level tetapi pada buku referensi, level biasanya diasumsikan linier untuk kemudahan mempelajari sistem pengaturan level yang nonlinier nantinya akan dilinierkan pada saat pemodelan sistem dalam bentuk state. dari state yang diperoleh dapat dikendalikan dengan menggunakan metode kontrol Optimal LQG. LQG adalah teknik kendali kombinasi dua buah metode yaitu metode *Linier Quadratic Regulator* dan Filter Kalman. bagian LQR bertujuan untuk mengoptimalkan *state*, Kalman Filter digunakan untuk mendapatkan pembacaan ketinggian dan laju aliran air yang bebas dari *noise*. Implementasi Kontroler pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab/Simulink dengan cara membandingkan respon plant pada saat diberi beban dan tanpa beban. Hasil dari simulasi diketahui bahwa penerapan kontroler LQG pada pengaturan ketinggian level air sesuai atau berhasil, karena *output* respon sesuai dengan *set point* dengan yang di berikan yaitu 75. Dengan $t_s=21$ detik.

Kata Kunci : *Water level, Linier Quadratic Regulator, Filter Kalman.*

**CASCADE CONTROLLER DESIGN USING METODE CONTROL
OPTIMAL LINIER QUADRATIC GAUSSIAN (LQG) TO CONTROL
THE WATER LEVEL AND WATER FLOW RATE ON BASIC
PROCESSES RIG 38-100**

Name : M. Fadli Husaini
Supervisor I : Eka Iskandar, ST., MT.
Supervisor II : Ir. Rusdhianto Effendi AK., MT.

ABSTRACT

In this final task plan carried out for designing the control system able to keep water levels and flow rate of the water water level on normal setpoint value despite changes in load or input on the system. This is done to maintain the security and efficiency of the work of the water level. nonlinear systems implementation settings appear on the level but at the level of the reference book, usually assumed to be linear for easy study. setting system nonlinear levels will be linearized such that at the time of modeling system in the form of state. obtained from the state can be controlled by using the LQG Optimal control methods. LQG control technique is a combination of two methods of Linear Quadratic Regulator method and the Kalman Filter. LQR section aims to optimize state Kalman Filter is used to get a reading of altitude and rate of flow of water that is free of noise. Implementation of the controller on this research was carried out using Implementation of the controller on the research done using Matlab/Simulink software by way of comparing the response of plant at the moment given the load and without load. The results of the simulation is known that the application of LQG controllers at the appropriate water level height adjustment or work, because the output response in accordance with a set point with that is given is 75. With $t_s = 21$.

Keyword : Water level, Linier Quadratic Regulator, Filter Kalman.

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan dan Manfaat	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
1.6 Relevansi.....	4
BAB II TEORI PENUNJANG.....	5
2.1 Sistem Pengaturan Proses.....	5
2.2 <i>Plant Level and Flow</i> Proses Rig 38-100	8
2.2.1 <i>Plant Single Tank</i>	10
2.2.2 <i>Pompa Submerisble</i>	11
2.2.3 <i>Servo Valve</i>	12
2.3 <i>Kontroler Cascade</i>	13
2.4 Identifikasi Sistem Loop Tertutup.....	14
2.5 Teori Kontrol Optimal.....	15
2.5.1 Kontrol Optimal.....	16
2.5.2 Kontrol <i>State Feedback</i>	17
2.5.3 <i>Linier Quadratic Regulator</i>	18
2.5.4 Filter Kalman.....	20
BAB III PERANCANGAN SISTEM	23
3.1 Perancangan dan Pemodelan <i>Plant</i>	23
3.1.1 Sistem <i>Level Air</i> Pada Tangki	24
3.1.2 Pemodelan Tangki Bawah	27

3.1.3	Pemodelan Pompa	27
3.1.4	Pemodelan Pipa	27
3.1.5	Pemodelan Sensor <i>Flow</i>	28
3.1.6	Pemodelan Sistem Pengaturan Laju Aliran Air	28
3.1.7	Pemodelan Sistem Pengaturan <i>Level</i> Air.....	29
3.1.8	Penghilangan <i>Delay</i> pada Sistem Pengaturan <i>Flow</i> dan <i>Level</i>	30
3.2	Perancangan kontroler menggunakan <i>Linear Quadratic Gaussian</i> (LQG)	31
BAB IV	SIMULASI DAN PENGUJIAN SISTEM.....	37
4.1	Simulasi <i>Plant</i> Pengaturan <i>Level</i> dan <i>Flow</i>	37
4.2	Simulasi <i>Plant flow</i> dan <i>Level</i> Menggunakan Kontrol LQG	40
BAB V	PENUTUP	43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN.....		47
Lampiran A (<i>LADDER DIAGRAM</i>).....		47
Lampiran B (<i>PROGRAM</i>).....		49
RIWAYAT PENULIS.....		51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai Parameter Komponen <i>Plant</i>	29
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Variabel <i>Input</i> dan <i>Output</i> pada Sistem Pengaturan Proses	6
Gambar 2.2	Diagram Blok Sistem Pengaturan Proses	6
Gambar 2.3	<i>Level and Flow Process Rig 38-100</i>	9
Gambar 2.4	Instalasi Pompa <i>Submesible</i>	11
Gambar 2.5	Instalasi <i>Servo Valve</i>	12
Gambar 2.6	Diagram Blok Sistem <i>Cascade Control</i>	13
Gambar 2.7	Konfigurasi kontrol konvensional.....	15
Gambar 2.8	Diagram Blok Kontrol Optimal	16
Gambar 2.9	Diagram Blok LQR	20
Gambar 2.10	<i>Standard Feedback Estimator</i>	21
Gambar 3.1	Skema Perancangan Sistem	23
Gambar 3.2	Sistem <i>Level</i> Air Pada Tangki	24
Gambar 3.3	Diagram Blok Pemodelan Pengaturan <i>Flow</i>	28
Gambar 3.4	Diagram Blok Pemodelan Pengaturan <i>Level</i>	29
Gambar 3.5	Simulasi <i>Openloop Plant</i>	33
Gambar 3.6	Simulasi <i>Plant</i> dengan Kontroler LQG	36
Gambar 4.1	Respon <i>Innerloop</i>	37
Gambar 4.2	Respon <i>Outerloop</i>	38
Gambar 4.3	Simulasi <i>Openloop Plant</i>	39
Gambar 4.4	Respon <i>Openloop Plant</i>	39
Gambar 4.5	Simulasi <i>Plant</i> dengan Kontroler LQG	40
Gambar 4.6	Respon Ketinggian air menggunakan kontroler tanpa Beban	41
Gambar 4.7	Respon Ketinggian air menggunakan kontroler dengan Beban	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses operasi dalam industri kimia bertujuan untuk mengoperasikan rangkaian peralatan sehingga proses dapat berjalan sesuai dengan satuan operasi yang berlaku. Untuk mencapai hal tersebut maka diperlukan pengendalian. pengendalian Ketinggian suatu cairan merupakan salah satu hal yang harus dikendalikan dalam suatu industri kimia. Apabila ketinggian cairan tidak dikendalikan maka proses dalam industri akan terganggu. Jika ketinggian cairan melebihi ketinggian yang diinginkan maka akan terjadi overflow atau cairan akan meluap sehingga mengganggu atau dapat merusak alat-alat lain dan jika ketinggian cairan kurang dari ketinggian yang diinginkan maka proses tidak akan bekerja. Oleh karena itu ketinggian suatu cairan harus dikendalikan dalam suatu industri.

Salah satunya proses Destilasi atau pemisahan Minyak dengan Air pada sistem pembangkit yang banyak digunakan, dimana proses ini dilakukan untuk memisahkan dua senyawa dengan menggunakan Pengendalian *Level* cairan, pengendalian ini dilakukan dengan cara menggunakan water *Level* kontrol sebagai batas antara minyak dan air, nantinya ketika air dan minyak berada dalam satu tangki penampung, pemisahan dilakukan dengan cara posisi air berada dibawa minyak dengan batas water *Level* kontrol, ketika air diisi terus menerus maka minyak akan naik kemudian tumpah keluar melalui pipa penyalur untuk ditampung ditempat penampungan berbeda, water *Level* kontrol dilakukan untuk mendeteksi ketinggian tertentu pada tangki penyulingan, ketika sudah sampai pada titik tertentu maka air akan berhenti mengisi dan air akan dikurangi sampai batas yang ditentukan kemudian akan mengisi lagi begitu seterusnya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dihadapi dalam pengendalian ketinggian adalah ditemukan bentuk nonlinier yang ditunjukkan aliran air sebanding dengan akar ketinggian yang nantinya akan di linierkan pada saat pemodelan sistem melalui tahap mendapatkan bentuk *state* dari ketinggian air.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Dapat Mengontrol Ketinggian Air dan Laju Aliran Air menggunakan kontrol Optimal *Linier Quadratic Gaussian* (LQG).
2. Ketinggian air dapat di modelkan dalam bentuk *state* sehingga bisa menerapkan jenis kontroler optimal LQG.
3. Pemasalahan nonlinier yang muncul akan dilinierkan pada tahap mendapatkan bentuk *state* dari ketinggian air.

1.4 Metodologi

Pelaksanaan Tugas Akhir ini terbagi atas beberapa tahap dengan rincian sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Kegiatan ini dilakukan dengan mengidentifikasi masalah yang akan dibahas dan mempelajari buku pedoman dari *e-book* atau jurnal yang menunjang teori atau prinsip dasar rangkaian, baik *software* maupun *hardware* dalam pembuatan alat tersebut, terutama di bagian penggunaan Sistem kontrol Optimal *Linier Quadratic Gaussian* (LQG).
2. Pengambilan Data dari *Plant* dan Identifikasi
Dari hasil yang didapat dari *study literature* disesuaikan dengan keadaan *plant* sesungguhnya. Dengan demikian, pada tahap ini akan dilakukan pengambilan data dari *Plant Water Level Control* Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, akan dilakukan identifikasi dari *plant* untuk mendapatkan model matematika yang akan digunakan untuk mendesain kontroler sesuai dengan yang diharapkan.
3. Simulasi Kontroler dan Simulasi
Pada tahapan ini akan dilakukan sebuah perancangan dan pemodelan alat tersebut, mulai dari bagian sistem elektroniknya sampai ke bagian sistem mekaniknya. Perancangan kontroler Optimal LQR perlu dilakuka agar sistem *Water Level* yang dikontrol dengan Sistem Optimal dapat menghasilkan Kestabilan yang terbaik. Pada penelitian ini, perancangan Sistem Optimal *Controller* dilakukan sebagai berikut:
 - a) Perancangan LQR Langkah pertama yang akan dilakukan adalah mencari matriks umpan balik optimal K , yang akan meminimumkan indeks performansi.
 - b) Perancangan LQG yang digunakan untuk meminimalisir laju

aliran air dengan control optimal.

- c) Respon Sistem Terhadap Gangguan yang digunakan untuk melihat hasil respon dari semua yang telah dilakukan dengan gambar grafik yang diplot pada simulasi yang ada.

4. Implementasi dan Uji Coba

Pengujian ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa kinerja masing-masing komponen dari hasil pembuatan alat dapat berfungsi sesuai yang diharapkan. Dari pengujian ini juga dilakukan penganalisaan sistem, untuk memperoleh data-data sistem, seberapa besar nilai error sistem. Setelah itu, barulah melakukan penyempurnaan lagi terhadap alat tersebut.

5. Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan dilakukan setelah semua tahap terselesaikan sehingga hasil yang diperoleh dari pembuatan alat dapat dijelaskan secara rinci dan spesifik sesuai dengan data-data yang diperoleh.

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi.

BAB II : DASAR TEORI

Bab ini memaparkan teori-teori dasar yang dipergunakan dalam menyelesaikan masalah dan pengerjaan Tugas Akhir ini. Beberapa teori tentang dasar *Plant*, *Proses Rig 38-100*, *software Matlab*, serta teori tentang kontrol optimal menggunakan metode *Linier Quadratic Regulator (LQR)* dan *Filter Kalman*.

BAB III : PERANCANGAN SISTEM

Pada Bab ini dibahas mengenai perancangan sistem secara detail meliputi, simulasi model matematika yang berbentuk persamaan nonlinier dan *linier*, perancangan serta penerapan metode *linier Quadratic Gaussian*.

BAB IV : SIMULASI DAN ANALISA

Bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, dimana dari simulasi yang didapatkan, dilakukan analisa-analisa terhadap respon dari *plant* baik yang nonlinier dan respon *plant* setelah

diterapkan metode *linier quadratic Gaussian* (LQG). Serta respon *plant* yang diberi beberapa nilai gangguan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan gambaran desain kontrol optimal menggunakan metode *Liniear Quadratic Gaussian* (LQG) yang digunakan dalam penentuan perbandingan nilai beban yang diberikan terhadap *Plant*.

BAB II

DASAR TEORI

Dalam bab ini akan dipaparkan mengenai teori-teori dasar yang dipergunakan dalam menyelesaikan masalah dan pengerjaan Tugas Akhir ini. Beberapa teori tentang dasar Sistem Pengaturan Proses serta model matematika akan dibahas dalam bab ini. Selain itu dalam bab ini akan sedikit dibahas mengenai teori kontrol optimal dengan metode *Linear Quadratic Gaussian* (LQG).

2.1 Sistem Pengaturan Proses

Sistem Pengaturan proses dapat di definisikan sebagai fungsi dan operasi yang perlu untuk mengubah bahan secara fisik maupun kimia. Pengaturan proses biasanya menunjuk pada pembuatan atau pemrosesan produk pada industri. Sistem pengaturan proses ini terdiri atas sekumpulan piranti dan peralatan elektronik yang mampu menangani kestabilan dan akurasi dalam proses produksi. Masing – masing komponen dalam sistem pengaturan proses tersebut memegang peranan penting tanpa berdasarkan pada bentuk dan ukurannya.

Adapun variable - variabel yang berhubungan dengan suatu proses (*flow pressure, Level fluid dan temperature*) terbagi didalam dua kelompok, yaitu:

1. Variabel *Input*, yaitu besaran energy yang berasal dari lingkungan (*surrounding*) atau diberikan yang dapat mempengaruhi dinamika proses.
2. Variabel *Output*, yaitu besaran energy dari proses yang dapat mempengaruhi lingkungan.

Variabel *Input* dapat juga dikelompokkan pada kategori – kategori berikut ini:

1. *Manipulated Variables* (*MV*), yaitu variabel *Input* yang nilainya dapat diatur oleh operator manusia atau mekanisme kontrol.
2. *Disturbances*, yaitu variabel *Input* yang nilainya tidak dapat diatur oleh operator atau mekanisme control.

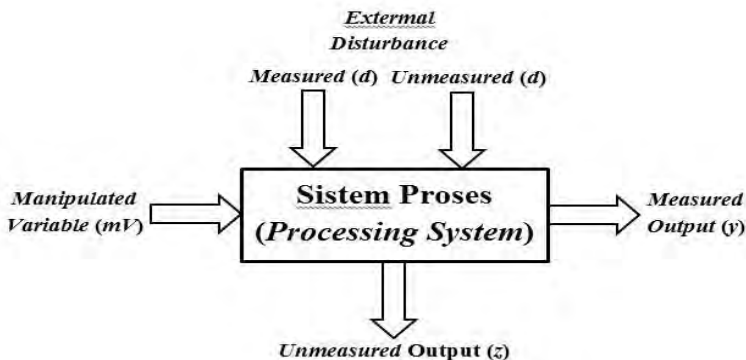
Sedangkan variabel *Output* dapat juga diklasifikasikan sebagai berikut ini:

1. *Measured Output Variables*, jika nilainya dapat langsung diketahui melalui mengukurnya.

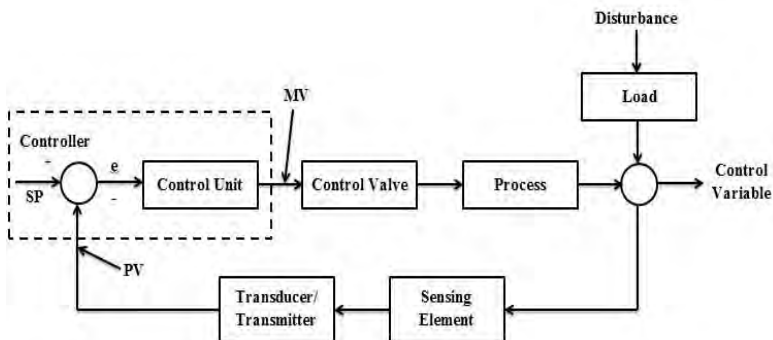
2. *Unmeasured Output Variables*, jika nilainya tidak dapat diukur secara langsung.

Dalam sistem pengaturan proses, variable *Output* disebut juga dengan variable proses. Gambar 2.1 merupakan diagram yang menggambarkan berbagai macam variabel yang mempengaruhi *plant* pengaturan proses.

Elemen - elemen dalam suatu sistem pengaturan proses dapat dibedakan menjadi: proses, sensor (*sensing element*), *transducer*, *transmitter*, *transmission lines*, kontroler, *final control element* (kontrol valve). Seluruh elemen ini bersama – sama membentuk suatu *plant* pengaturan, seperti diperlihatkan pada Diagram Blok *plant* pengaturan proses pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Variabel *Input* dan *Output* pada Sistem Pengaturan Proses



Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem Pengaturan Proses

Dalam *plant* proses terdapat beberapa istilah penting yang perlu dipelajari, antara lain:

1. Proses adalah peralatan (*equipment*) bersama-sama dengan reaksi fisis ataupun kimia yang terjadi didalamnya.
2. Instrumen - instrumen pengukur (*sensor*) adalah instrumen – instrumen yang digunakan untuk pengukuran (*measurement*). Variabel – variabel yang diukur adalah *Process Variables (PV)*. Instrumen ini juga digunakan untuk memperoleh informasi tentang apa yang sedang terjadi didalam suatu proses. Dalam suatu sistem kontrol dapat dijumpai berbagai macam sensor yang berbeda dalam fungsinya. Sensor yang digunakan akan berbeda tergantung dari *process variable* yang akan diukur. Jenis – jenis tersebut adalah sebagai berikut: *Pressure Sensor*, *Temperature Sensor*, *Flow Sensor*, *Liquid Level Sensor* dan *Composition Sensor*.
3. *Transducers / transmitter* mengkonversi sinyal pengukuran ke dalam besaran fisis tertentu (sinyal elektrik atau sinyal pneumatic), sehingga sinyal hasil pengukuran tersebut dapat ditransmisikan dengan mudah dan juga dapat dimengerti oleh kontroler. Sebagai contoh, *strain gauges* dapat mengubah sinyal *pressure* menjadi sinyal elektrik.
4. Saluran transmisi (*transmission lines* membawa sinyal hasil pengukuran oleh sensor dan telah diubah oleh *transducer/transmitter* kekontroler atau kontroler ke *final control element*. Saluran transmisi dapat berupa sinyal pneumatic (udara yang terkompresi). Namun, seiring dengan perkembangannya kontrol elektronik analog dan khususnya kontroler digital saat ini kebanyakan menggunakan sinyal elektrik sebagai saluran transmisinya. Sesuai dengan standard *ISA (Instrument Society of America)*. Besarnya sinyal transmisi tersebut adalah:
 - a) Sinyal Pneumatik: 3 – 15 psig (0,2 – 1 kg/cm²)
 - b) Sinyal Elektrik: 4 – 20 mA

psig = pounds per square inchies (gauge)

tujuan dari standardisasi tersebut adalah untuk kemudahan pengguna dalam memilih instrument, juga kemudahan dalam perancangan, kalibrasi dan pemeliharaan.

5. Kontroler memperoleh informasi dari *measuring service* yaitu sinyal *Process Variable (PV)*, membandingkan dengan *Set Point*

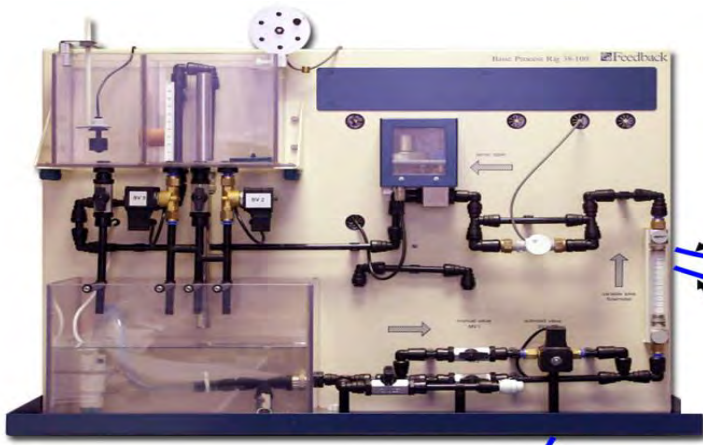
(*SP*), kemudian memutuskan atau mengeluarkan sinyal koreksi (*Manipulated Variable / MV*) untuk transmisikan ke *Control Valve Controller* dapat berupa kontroler mekanik (*pneumatic*) *Controller* elektronik atau kontroler digital yang terkomputerisasi dengan kemampuan dapat melaksanakan tugas-tugas kontrol yang cukup rumit.

6. *Set Point* adalah besar *process variable* yang dikehendaki. Kontroler akan berusaha untuk menyamakan *process variable* dengan *setpoint*.
7. Aktuator adalah perangkat mengimplementasikan sinyal kontrol yang berasal dari kontroler.
8. *Measurement* adalah sinyal yang keluar dari *transmitter*. Dimana sinyal ini memiliki besar nilai yang sama dari sinyal *plant* pengukuran.

2.2 Plant Level and Flow Proses Rig 38-100

Sistem dua tangki berhubungan yang digunakan sebagai *plant* pada tugas akhir ini adalah *Level and Flow Process Rig 38-100*. *Level and Flow Process Rig 38-100* adalah alat yang sengaja dirancang untuk pengajaran laboratorium dari teori system kendali yang merupakan contoh dari system suatu pabrik.

Level and Flow Process Rig 38-100 terdiri dari dua Menara tangki yang terletak di atas sebuah reservoir yang digunakan untuk menyimpan air (Gambar 2.3). Air dari reservoir dapat di pompa ke dalam tangka pertama (sebelah kanan) dan bila ketinggian air cukup maka air akan mengalir ke tangki kedua (sebelah kiri). Ketinggian air pada masing-masing tangki dapat dilihat pada mistar yang terletak di depan kedua tangki. Pada setiap tangki dari alat tersebut dilengkapi juga oleh saluran keluar air yang letaknya di bagian bawahnya. Besarnya saluran keluar tersebut dapat diatur dengan cara mengatur katup pada pipa keluaran menggunakan sebuah katup pada bagian tangki kedua. Kondisi katup yang berbeda akan menyebabkan model alat menjadi berbeda. Oleh sebab itu, kondisi bukan katup harus selalu dibuat tetap selama pembuatan model.



Gambar 2.3 *Level and Flow Process Rig 38-100*

Komponen *Level and Flow Process Rig 38-100* terdiri dari *servo valve*, *flowmeter*, dan *manual valve* yang terhubung pada pipa saluran aliran air. Selain itu, *Level and Flow Process Rig 38-100* memerlukan beberapa peralatan pendukung lainnya yaitu *Process Inference 38-200*, *Process Controller 38-300*, *Float Level Transmitter 38-401*, *Pulse Flow Transmitter 38-421*, *Digital Display Module 38-490*, dan *Centrifugal Pump*. Adapun komponen-komponen utama penyusun sistem adalah sebagai berikut:

1. *Servo Valve*

Servo valve merupakan komponen yang berfungsi untuk mengatur debit air yang dipompa dari *reservoir*. Besarnya air yang keluar dan ditampung pada tangki atas, diatur sedemikian rupa oleh *servo valve*, agar ketinggian air pada tangki atas tersebut sesuai dengan nilai *setpoint* yang diberikan. *Servo valve* bergerak secara *vertical* yang diatur oleh arus sebesar 4-20 mA. Pada saat 4 mA, *servo valve* akan menutup penuh, dan pada saat 20 mA *servo valve* akan membuka penuh.

2. *Level Sensor dan Flow Sensor*

Pada sistem ini, yang berfungsi sebagai elemen pengukur adalah *Level sensor* dan *flow sensor*. *Level sensor* digunakan untuk mengukur ketinggian air pada tangki atas, sedangkan *flow sensor*

digunakan untuk mengukur aliran air melewati saluran pipa. Pada pengerjaan tugas akhir ini hanya digunakan *Level* sensor berupa potensiometer 10 putaran. Potensiometer ini diberi roda pada ujungnya yang merupakan lintasan dari suatu tali pengikat yang diberi beban pada ujung lainnya. Perputaran potensiometer yang diakibatkan oleh pergerakan pelampung, akan memberikan informasi tentang perubahan ketinggian air.

3. *Manual Valve* dan *Solenoid Valve*

Manual valve dan *solenoid valve* yang berada pada bagian bawah tangki atas berguna untuk mengalirkan air keluar menuju *reservoir*. Hal ini bertujuan sebagai pembebanan pada *plant* secara keseluruhan. *Manual valve* digerakkan secara manual dan dapat diatur besar kecilnya bukan *valve*, sedangkan *solenoid valve* hanya bekerja pada posisi terbuka atau tertutup saja. Komponen utama pada *solenoid valve* adalah *coil electrical*. Posisi normal pada *solenoid valve* tersebut adalah tertutup dan akan terbuka apabila *coil*nya dilalui oleh arus listrik.

4. Proses *Interface* 38-200

Process *Interface* 38-200 berperan sebagai penyedia daya bagi sensor, *process controller*, dan *actuator*. Pada *process Interface* 38-200 ini terdapat 4 terminal *Input* dan 1 terminal *Output*.

5. Process *Controller* 38-300

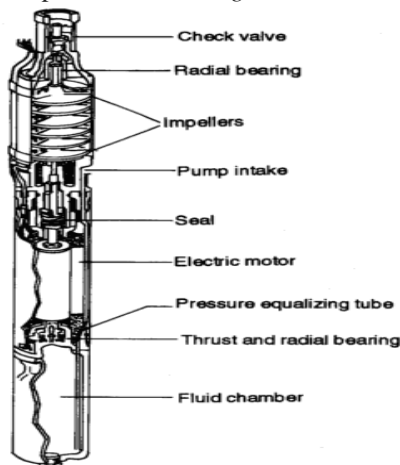
Process *Controller* 38-300 adalah sebuah kontroler industri yang diproduksi oleh ABB dan berbasis pada *microprocessor* dengan 4 *Input* logika dan 4 *Output relay*. *Process controller* 38-300 menyediakan 2 bentuk *control state* hingga 3 bentuk kontrol PID. Pada *Process Controller* 38-300 juga terdapat alat yang berguna mengatur *setpoint*, melihat nilai respon, dan parameter-parameter yang berkaitan langsung dengan proses.

2.2.1 *Plant Single Tank*

Plant Level Single Tank merupakan *plant* yang menggunakan proses pengaturan *Level* pada tangki yang berguna untuk menampung hasil akhir dari pengisian air yang disalurkan melalui dari tangki penampung. *Plant Level Single tank* ini terdiri dari beberapa komponen pendukung seperti: Pompa, Jalur transmisi (pipa), *Plant* pengaturan (*Single tank*), *actuator* dan *indicator*. Untuk *Plant Level Air* ini untuk *Aktuatornya* dapat berubah atau diatur sesuai dengan nilai yang diinginkan.

2.2.2 Pompa *Submersible*

Pompa *Submersible* (pompa benam) disebut juga dengan electric submersible *pump* (ESP) adalah pompa yang dioperasikan di dalam air dan akan mengalami kerusakan jika dioperasikan dalam keadaan tidak terdapat air terus-menerus. Jenis pompa ini mempunyai tinggi minimal air yang dapat dipompa dan harus dipenuhi ketika bekerja agar *life time* pompa tersebut lama. Pompa jenis ini bertipe pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal sendiri prinsip kerjanya mengubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis) melalui suatu impeller yang berputar dalam *casing*.



Gambar 2.4 Instalasi Pompa *Submersible*

Prinsip kerja pompa jenis ini berbeda dengan jenis *Jet Pump*. Jika pompa yang saya sebut terakhir bekerja dengan cara menyedot air, jenis pompa submersible bekerja dengan mendorong air ke permukaan.

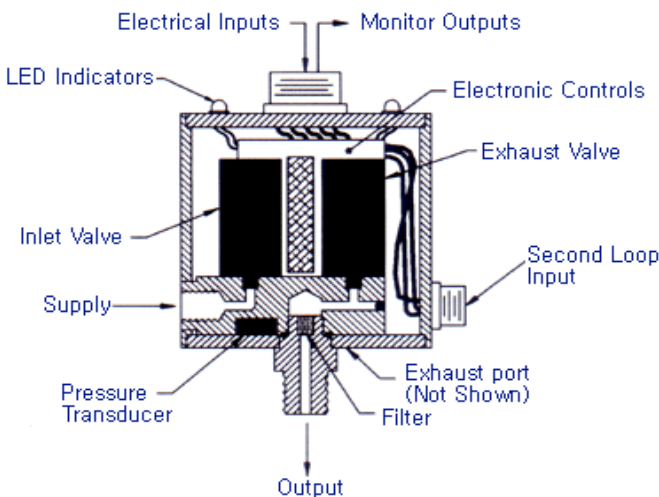
Berikut kelebihan dari jenis pompa *submersible*:

1. Biaya perawatan yang rendah.
2. Tidak bising, karena berada dalam sumur.
3. Pompa memiliki pendingin alami, karena posisinya terendam dalam air.
4. System pompa tidak menggunakan shaft penggerak yang panjang dan bearing, jadi problem yang biasa terjadi pada pompa

permukaan (*Jet Pump*) seperti keausan bearing dan shaft tidak terjadi.

2.2.3 *Servo Valve*

Servo valve adalah peralatan elektromagnetik yang digunakan untuk mengontrol aliran. Berbeda dengan *servo motor*, *servo valve* memiliki respon yang lebih cepat. Frekuensi respon untuk perubahan katup berada dalam *range* 20 sampai 40 Hz. Konstruksi lengkap untuk *servo valve* ditunjukkan dalam Gambar 2.5. *Servo valve* terdiri dari dua interaktif subsistem. Pertama, unit elektromagnetik yang terletak pada bagian atas dari Gambar 2.5. Dan yang kedua, bagian *main stage body* yang terletak pada bagian bawah Gambar 2.5. Sinyal kontrol dari penguat arus koil berguna untuk menghasilkan gaya pada sisipan koil (*coil insert*). Sisipan koil menjalankan lengan gerak (*drive arm*) dengan gerak konstrain oleh tabung *flexure*. Tekanan hidrolik dihasilkan di dalam aliran fluida ke satu ujung *valve spool* dan gerakan selanjutnya dari *spool* ke posisi dimana satu *port* dibuka. Penguat hidrolik dimasukkan ke dalam subsistem *valve spool* besar bergerak dengan gaya elektromagnetik yang sangat kecil dipakai untuk lengan gerak. Gaya *servo valve* dijalankan oleh arus kontrol antara 4-20 mA.

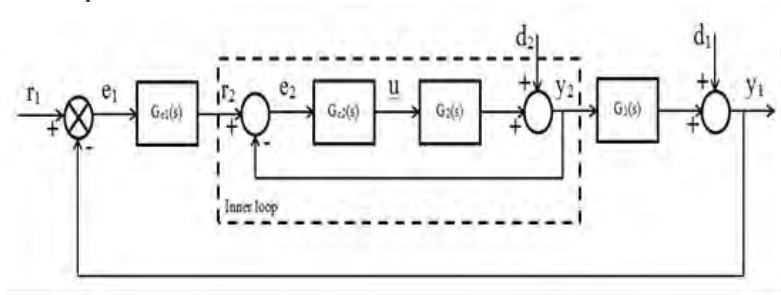


Gambar 2.5 Instalasi *Servo Valve*

2.3 Kontroler Cascade

Kontroler kaskade (*cascade controller*) sering digunakan pada system pengendalian proses. Dengan digunakannya controller kaskade diharapkan mendapatkan performansi kontroler yang lebih baik dibandingkan dengan kontroler tunggal (*Single controller*). Ada dua tujuan dari digunakannya kontroler kaskade:

1. Untuk mengeliminasi pengaruh gangguan
2. Meningkatkan atau memperbaiki kedinamisan performansi control loop



Gambar 2.6 Diagram Blok Sistem Cascade Control

Diagram blok dari sistem kontrol kaskade diilustrasikan pada gambar 2.6. Kontroler yang terdapat pada *Outerloop*, G_{c1} , disebut *master* atau *primary controller* (kontroler utama) dan yang terdapat pada *Innerloop*, G_{c2} , disebut *auxiliary* atau *secondary controller* (kontroler pembantu). Dari skema Diagram Blok diatas dapat dipahami karakteristik dasar dari kontrol kaskade adalah gabungan dari dua kontroler pertama (*primary controller*) merupakan setpoint untuk kontroler berikutnya (*secondary controller*).

Dari Gambar 2.6 fungsi alih dari *Innerloop* yang dinotasikan sebagai G_i memiliki persamaan

$$G_i = \frac{Y_2}{R_2} = \frac{K_2 G_2}{1 + K_2 G_2} \quad (2.1)$$

Dengan demikian maka fungsi alih yang dimiliki sistem *Closeloop* tersebut menjadi

$$\begin{aligned}
G_p &= \frac{Y_1}{R_1} = \frac{G_2 K_1 G_1}{1 + G_2 K_1 G_1} \\
&= \frac{K_1 K_2 G_1 G_2}{1 + K_2 G_2 + K_1 K_2 G_1 G_2}
\end{aligned}
\tag{2.2}$$

Untuk sistem yang diberi gangguan, misalkan pada d_2 yaitu gangguan pada *Innerloop*, dan $d_1=0$, maka fungsi alih keluaran sistem adalah:

$$\frac{Y_1}{D_2} = \frac{G_1}{1 + K_2 G_2 + K_1 K_2 G_1 G_2}
\tag{2.3}$$

Jika umpan balik pada *Innerloop* ditiadakan maka tentulah kontroler K_2 tidak diperlukan, maka fungsi alih keluaran sistem menjadi:

$$\frac{Y_1}{D_2} = \frac{G_1}{1 + K_1 G_1 G_2}
\tag{2.4}$$

Terdapat perbedaan penyebut Persamaan (2.3) dan (2.4), hal ini berarti bahwa terdapat perbedaan respon terhadap gangguan antara sistem kontrol kaskade dengan sistem *Singleloop*.

2.4 Identifikasi Sistem *Loop* Tertutup

Penurunan suatu model matematis sistem dapat dilakukan dengan menurunkan rumus hukum-hukum fisis sistem tersebut atau dengan melakukan identifikasi pemodelan fisik dimana untuk menganalisa masukan-keluaran respons sistemnya. Pada penurunan model sistem *Level* ini, dilakukan dengan melakukan identifikasi secara langsung atau fisik untuk memperoleh data masukan-keluaran sistem. Berdasar data masukan-keluaran sistem, maka didapat model matematis sistem yang digunakan untuk merancang kontroler.

Identifikasi *loop* tertutup adalah suatu proses untuk mendapatkan nilai-nilai parameter dari *plant*, dimana pada *plant* telah terpasang kotroler dengan alasan keamanan. Sehingga pada identifikasi *loop* tertutup, didapat suatu persamaan model matematika *plant* dengan komponen kontroler berada pada persamaan yang didapat. Sehingga untuk mendapatkan persamaan model matematika lip terbuka,

koomponen kontroler tersebut harus dihilangkan dari persamaan yang telat didapat melalui proses identifikasi *loop* tertutup.

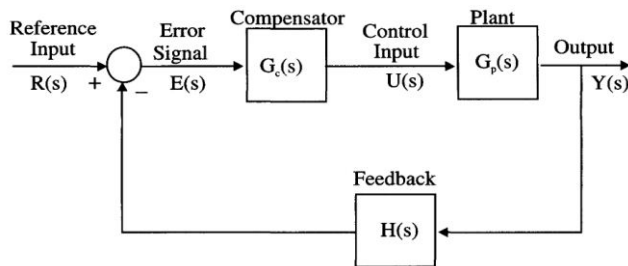
Identifikasi *loop* tertutup digunakan untuk mengatasi ketidakstabilan *plant* apabila diidentifikasi *loop* terbuka. Selain itu, identifikasi *loop* tertutup digunakan agar sifat *non-linear* komponen tidak terlalu mengganggu proses identifikasi.

2.5 Teori Kontrol Optimal

Pada dasarnya teori kontrol terbagi menjadi dua bagian yaitu teori kontrol modern dan teori kontrol konvensional. Teori kontrol konvensional hanya membahas tentang sistem satu *Input* satu *Output* yang berdasarkan pada transformasi laplace dan direpresentasikan menggunakan diagram blok.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Dari gambar 2.7 dapat diketahui bahwa masukan dari *plant* ditentukan oleh sinyal error $e(t)$ dan kompensator, dan semua *variable* tidak langsung ada pada *feedback*. Pada umumnya hanya satu *variable* keluaran yang tersedia pada *feedback*.



Gambar 2.7 Konfigurasi kontrol konvensional

Teori kontrol modern lebih mengacu pada sistem yang mempunyai banyak *Input* dan banyak *Output* yang berdasarkan *state variable* yang direpresentasikan menggunakan persamaan diferensial orde satu. Berikut ini adalah *plant* yang menggunakan karakteristik *state variable*.

$$\dot{x}(t)=Ax(t)+Bu(t) \quad (2.2)$$

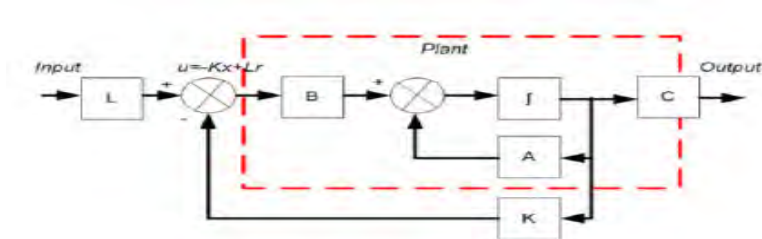
$$\dot{y}(t)=Cx(t)+Du(t) \quad (2.3)$$

Dari persamaan 2.2 dan 2.3, A merupakan *state* nxn, dimana n adanya banyaknya orde yang terdapat pada *state*, B merupakan *Input* nxr, dimana r adalah baris yang terdapat pada *state*, C adalah *Output* mxn, dimana m adalah jumlah *Output* yang terdapat pada *state* dan yang terakhir D merupakan transfer matrik mxr. Gambar 2.7 merupakan konfigurasi kontrol modern yang digunakan saat ini.

2.5.1 Kontrol Optimal

Istilah optimal mengandung maksud hasil yang paling baik yang dapat dicapai dengan memperhatikan kondisi dan kendala dari suatu sistem. Dalam system kontrol optimal, istilah optimal sering kali merujuk pada nilai minimal, misalnya meminimalkan bahan bakar, waktu dan kesalahan.

Adapun diagram blok system kontrol optimal secara umum dapat diperlihatkan pada gambar 2.8:



Gambar 2.8 Diagram Blok Kontrol Optimal

Sistem kontrol yang baik adalah sistem kontrol yang memiliki daya tanggap yang cepat dan stabil, tetapi tidak memerlukan energi yang berlebihan. Sistem kontrol yang demikian dapat dicapai melalui pengaturan indeks performansi yang tepat. Sistem kontrol yang berdasarkan optimasi indeks performansi disebut sistem kontrol optimal.

Pada suatu sistem indeks performansi dipilih sesuai dengan bagian yang akan dioptimalkan. Bentuk umum dari indeks performansi adalah sebagai berikut:

$$J = \int_{t_0}^T L(x, u, t) dt \quad (2.4)$$

Dimana:

J = Indeks performansi

L (x,u,t) = Fungsi dari x,u dan t

T = waktu

Salah satu metode yang biasa digunakan untuk meminimalkan indeks performansi yaitu persamaan Aljabar Ricatti, yang digunakan untuk mengoptimalkan system proses yang berbentuk linear. Suatu system *kontrol* akan optimal pada indeks unjuk kerja yang diberikan, tetapi tidak optimal lagi pada indeks unjuk kerja yang lain.

2.5.2 Kontrol State Feedback

Kontrol *State Feedback* adalah kontrol yang berdasarkan pada gain umpan balik, sesuai dengan namanya *Feedback* maka diletakkan pada umpan balik yang dibandingkan terhadap sinyal referensi. Misalkan sebuah *plant* mempunyai bentuk *state space* sebagai berikut:

$$\dot{x}(t) = Ax + Bu$$

$$y = Cx$$

Dengan aturan *State Feedback*:

$$u = -Kx$$

Sehingga didapatkan:

$$\dot{x} = Ax + B(-Kx)$$

$$\dot{x} = (A + BK)x$$

Kestabilan dari sistem pada persamaan diatas. Pada tugas akhir ini, untuk mencari *gain state Feedback* (K) digunakan metode kontrol linier *Quadratic Gaussian* (LQG) dimana metode ini merupakan campuran dari metode *linier Quadratic Regulator* (LQR) dan juga Filter Kalman.

2.5.3 Linier Quadratic Regulator (LQR)

Desain LQR yang digunakan pada penelitian ini adalah *infinite-time LQR system*. Metode ini digunakan pada sistem *linear time invariant (LTI)* dengan *plant* sebagai berikut.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y = Cx$$

(2.5)

Rumusan *cost function* sebagai berikut:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [x^T Q x(t) + u^T(t) R u(t) dt] \quad (2.6)$$

Dimana $x(t)$ adalah vektor *state* orde ke n , $u(t)$ adalah vektor kontrol orde n , A adalah matrik *state* $n \times n$, B adalah matrik *state* $r \times n$. Nilai matrik pemberat Q harus semidefinit positif dan nilai R harus definit positif. Hal ini berarti nilai scalar $x^T Q x$ selalu bernilai positif atau nol setiap waktu t untuk semua fungsi $x(t)$, dan nilai scalar $u^T R u$ harus selalu positif setiap waktu dari $u(t)$. Dengan terpenuhinya persyaratan ini maka akan dapat dipastikan nilai J akan bagus. Pada bagian eigenvalue, nilai Q tidak boleh bernilai non-negatif maka nilai R harus bernilai positif. Jika kedua matrik dipilih berbentuk diagonal berarti semua masukan R harus bernilai positif dan nilai Q juga positif.

Tujuan utama dari kontrol optimal adalah untuk mencari nilai gain K dengan cara meminimalkan indek performa J . Indek performa dapat diinterpretasikan sebagai fungsi *Output*, jadi semakin kecil indek performansi maka akan semakin kecil pula total *Output* dari sistem *loop* tertutup. Dengan catatan bahwa *state* $x(t)$ dan *Input* $u(t)$ adalah pemberat bagi J , jadi apabila diharapkan nilai J kecil maka nilai $x(t)$ dan $u(t)$ tidak boleh terlalu besar. Apabila nilai J diperkecil, maka sistem dapat dipastikan terbatas, tetapi karena sistem adalah integral tidak terbatas dari $x(t)$, oleh karena itu dapat diketahui bahwa $x(t)$ akan nol apabila t bernilai tidak terbatas. Hal ini dapat dipastikan bahwa sistem *Closeloop* akan menjadi stabil.

Nilai dua matrik Q dan R dipilih sesuai dengan desain yang diinginkan. Tergantung dari parameter dipilih maka sistem *loop* tertutup akan mempunyai respon yang berbeda-beda. Pada umumnya pemilihan matrik Q dengan nilai yang besar dapat membuat nilai J menjadi kecil

oleh karena itu nilai $x(t)$ haruslah kecil. Sebaliknya dengan memilih nilai R yang besar maka nilai *Input* $u(t)$ harus tetap kecil untuk menjaga agar nilai J tetap kecil. Dari uraian dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai Q maka hasil dari pole dari sistem *loop* tertutupnya berada pada bagian kiri bidang s sehingga nilai *state* meluruh secara lambat. Sebaliknya semakin besar nilai R maka semakin kecil usaha yang digunakan dan mendapatkan nilai *state* $x(t)$ yang besar.

Dengan interval *infinite final-time*, dengan adanya *final cost function* tidak berpengaruh pada praktiknya. Karenanya, pada *final cost* tidak terdapat $F(t_f)$.

Sistem yang mempunyai *infinite final-time interval* seharusnya adalah matrik yang *completely controllable*. Berikut ini adalah cara untuk mengetahui apakah suatu matrik adalah *controllable*.

$$[B \ AB \ \dots \ A^{n-1} \ B] \quad (2.7)$$

Matrik harus *singular* atau mengandung vektor kolom *liniearly independent*. Matrik yang kontrolabel dapat dipastikan mempunyai *optimal cost* yang terbatas. Sebaliknya jika sistem *uncontrollable* dan tidak stabil maka *cost function* akan menjadi tidak terbatas sejak interval kontrolnya tidak terbatas juga.

Untuk desain *kontroler LQR*, Langkah pertama adalah memilih matriks bobot nilai Q dan R . Masukan R lebih berat daripada *state* sementara ketika nilai bobot Q *state* lebih dari *Input*. Kemudian umpan balik K dapat dihitung dan respon *loop* sistem tertutup dapat ditemukan dengan simulasi.

LQR kontroler diberikan oleh:

$$u = -Kx \quad (2.8)$$

Dimana K adalah konstanta umpan balik yang diperoleh dari penyelesaian persamaan aljabar diskrit Riccati. Keuntungan K matriks yang memecahkan masalah adalah LQR. Jika elemen-elemen matriks K yang tidak diketahui ditentukan sedemikian rupa, maka $u=-Kx$ optimal untuk syarat awal $x(0)$.

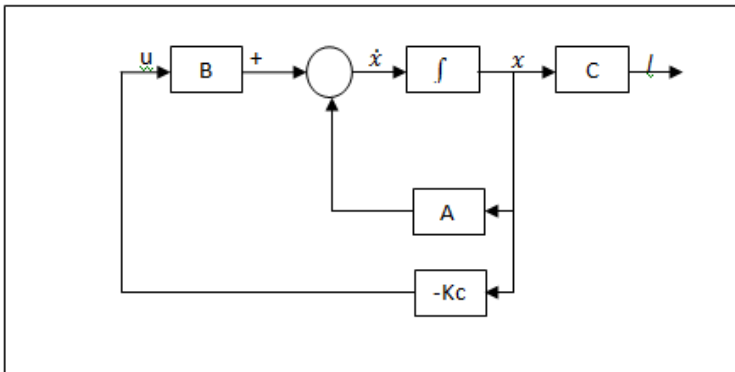
Dari indeks persamaan *state space* sistem dan indeks performansi didapat nilai matriks K yang optimal untuk indeks performansi yang dipilih sebagai:

$$K = R^{-1}B^T \quad (2.9)$$

Dimana *P adalah unik, solusi semidefinite positif untuk persamaan Riccati harus memenuhi persamaan tereduksi berikut:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (2.10)$$

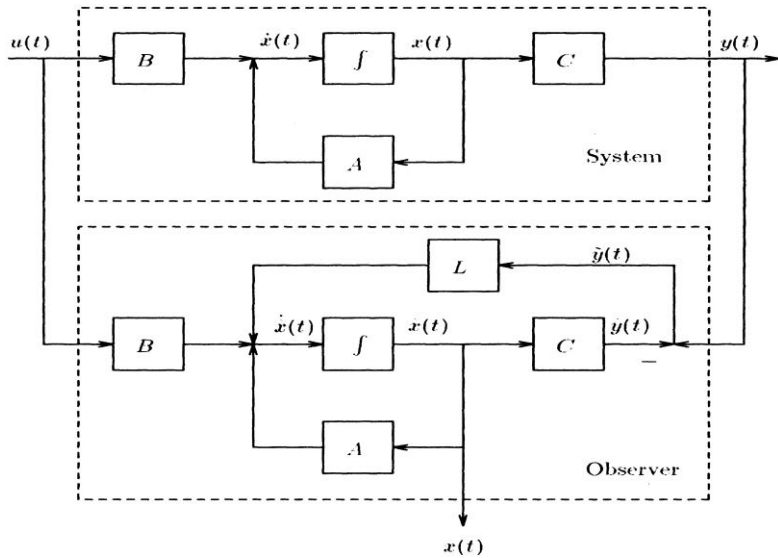
Sistem pengendalian menggunakan LQR dapat dilihat dalam gambar 2.9 Diagram blok LQR dibawah ini:



Gambar 2.9 Diagram Blok LQR

2.5.4 Filter Kalman

Kalman Filter merupakan estimator, Filter kalman mempunyai keistimewaan tersendiri dibandingkan filter lainnya yaitu dapat mengestimasi *state* dari *Output* yang ada pada *plant* yang memiliki *noise*. dengan kata lain Filter Kalman dapat menghilangkan *Noise*. Diagram blok *estimator* dapat dilihat dalam Gambar 2.10:



Gambar 2.10 *Standard Feedback Estimator*

Dari Gambar 2.10 dari pengamatan bahwa *state* desain ini digunakan untuk memilih nilai L , sehingga kesalahan yang terjadi dapat teratasi dengan cepat. dari *state-feedback control* sistem diatas yaitu:

$$u = -Kx$$

yang menghasilkan sistem *loop* tertutup:

$$\dot{x} = (A - BK)x$$

masalah desain *state-feed back* yaitu untuk menentukan nilai K yang diinginkan untuk *loop*-tertutup. Dari gambar diatas intinya adalah sama seperti LQR akan tetapi disini dicari nilai L untuk menentukan nilai kalman yaitu:

$$L = PC^TR^{-1}$$

Untuk mendapatkan nilai penguatan L , dibutuhkan matriks Q_n dan R_n yang merepresentasikan gangguan pada sistem dan *noise* sensor. Nantinya Q_n dan R_n ini dimasukan untuk menyelesaikan persamaan tereduksi Ricatti:

$$AP + PA^T + Q - PC^T R^{-1} CP = 0$$

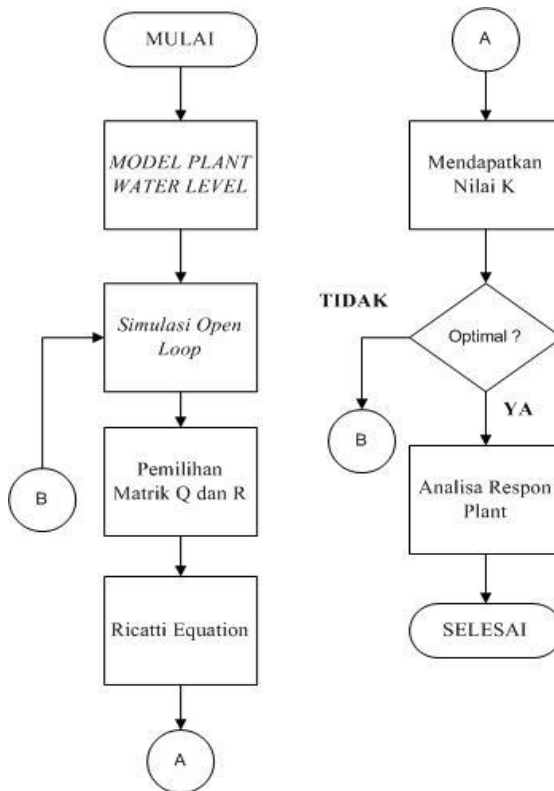
Dari persamaan tereduksi Ricatti diatas nantinya akan didapatkan nilai yang ingin didapatkan, atau nilai K yang baru untuk persamaan Filter Kalman tersebut.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

1.1 Perancangan dan Pemodelan *Plant*

Pada Bab ini dibahas mengenai perancangan sistem secara detail meliputi, identifikasi dan model matematika *plant* telah didapat dari pemodelan fisik *plant*, simulasi *Openloop* dari *plant* yang ada, dan juga penerapan metode kontrol optimal *Linear Quadratic Gaussian* (LQG) Untuk skema perancangan sistem tampak pada Gambar 3.1:

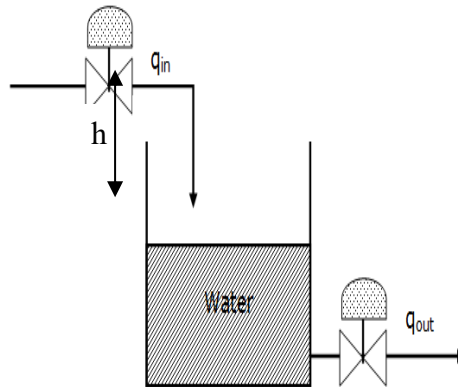


Gambar 3.1 Skema perancangan sistem

Perancangan kontroler LQR pada Proses Rig 38-100 ini dimulai dengan menentukan setiap bagian yang ada pada *plant* yang ingin digunakan. Dengan melakukan simulasi *Openloop* maka diketahui bagai mana respon *plant*. Dari respon *plant* yang didapatkan belum stabil oleh karena itu dibutuhkan kontroler yang diharapkan dapat membuat respon *plant* dapat ke kondisi *steady state* apabila terjadi pembebanan. Setelah mengetahui bagaimana respon *plant* maka mulai dirancang kontroler LQR untuk langkah pertama adalah menentukan matrik Q dan R yang berfungsi sebagai matrik Pembobot. Penentuan matrik Q dan R dilakukan dengan cara *trial dan error* sampai didapatkan respon *plant* yang sesuai dengan *Set Point*. Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai *PP* dari persamaan *algebraic riccati equation*. Nilai *PP* digunakan untuk mencari nilai *gain* K yang nantinya akan menghasilkan sinyal kontrol. Setelah mendapatkan nilai repon yang optimal maka dilakukan analisa pada respon *plant*.

3.1.1 Sistem Level Air Pada Tangki

Sistem *Level Air* merupakan sistem dimana terdapat sebuah tangki penampungan yang nantinya diisi oleh air melalui pipa yang terdapat diatas tangki penampung, dan juga terdapat pipa pembuangan yang berguna untuk membuang air yang terdapat dibawah tangki penampungan.



Gambar 3.2 Sistem *Level Air* Pada Tangki

Keterangan:

- q : Debit air masuk saat *steady state*, (cm^3/sec)
- q_{in} : Selisih debit air masuk terhadap nilai *steady state*, (cm^3/sec)
- q_{on} : Selisih debit air keluar terhadap nilai *steady state*, (cm^3/sec)
- H : Ketinggian air saat *steady state*, (cm)
- h : Selisih ketinggian air terhadap nilai *steady state*, (cm)
- C : Kapasitansi Tangki, (cm^2)
- R : Hambatan aliran air pada tangki, (sec/cm^2)

Sistem *Level* air pada tangki pada gambar 3.2 diatas dijelaskan bahwa proses pada *Level* air umumnya terdiri dari proses pengisian dan proses pengosongan tangki atau bisa disebut *charging* dan *discharging*. Pada *Level* tangki ini Parameter utamanya adalah Kapasitas tangki dan Resistansi (R) pembuangan tangki.

Dari sistem *Level* tangki yang ada pada gambar 3.2, pada gambar berlaku bahwa debit air yang masuk sama dengan debit air yang keluar ditambahkan dengan debit air yang terdapat pada tangki, maka hukum yang berlaku yaitu:

$$q = q_i - q_o \quad (3.1)$$

Keterangan:

- q : Debit air masuk saat *steady state*, (cm^3/sec)

Untuk persamaan 3.1 diatas , dapat juga berlaku persamaan yaitu:

$$q_i - q_o = C \frac{dh}{dt} \quad (3.2)$$

Kapasitansi tangki didefinisikan sebagai perubahan Volume cairan yang diperlukan untuk mendapatkan perubahan *Level*. Kapasitansi tangki sama dengan luas permukaan penampang tangki, jadi apabila luas penampang tangki tetap pada ketinggian tertentu maka nilai kapasitansi tangki konstan. Kapasitansi tangki maka hukum yang berlaku yaitu:

$$C = \frac{\text{perubahan volume cairan}(\text{cm}^3)}{\text{perubahan level cairan (cm)}} \\ = \text{luas penampang tangki} = \text{panjang} \times \text{lebar} \quad (3.3)$$

Jika volume yang berubah tiap perubahan *Level* air tetap atau luas penampang tangki tetap, maka nilai *C* akan konstan.

Pada Sistem *Level* Air yang terdapat pada gambar 3.2 terdapat nilai Resistansi aliran yang melewati *valve* , untuk nilai Resistansi tersebut dapat dirumuskan yaitu:

$$R = \frac{\text{perubahan level air (cm)}}{\text{perubahan debit (cm}^3/\text{sec)}} \quad (3.4)$$

$$R = \frac{h}{q} \quad (3.5)$$

Keterangan:

R : Debit air masuk saat *steady state*, (cm³/sec)

h : Selisih ketinggian air terhadap nilai *steady state*, (cm)

q : Debit air masuk saat *steady state*, (cm³/sec)

Untuk nilai Resistansi yang merupakan hambatan aliran air pada *valve* pembuangan maka berlaku rumus yaitu:

$$q_o = \frac{h}{R} \quad (3.6)$$

Jika Persamaan 3.6 disubsitusikan ke persamaan 3.3 maka didapatkan nilai yaitu:

$$q_i - \frac{h}{R} = C \frac{dh}{dt} \quad (3.7)$$

Dari persamaan 3.7 untuk dapat menyederhakan permasalahan dalam bentuk fungsional maka perlu ditransformasikan kedalam bentuk persamaan , untuk itu menggunakan transformasi Laplace yaitu:

$$RQ_i(s) - H(s) = RCsH(s) \quad (3.8)$$

$$RQ_i(s) = (RCs + 1)H(s) \quad (3.9)$$

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = G(s) = \frac{R}{RCs + 1} \quad (3.10)$$

3.1.2 Pemodelan Tangki Bawah

Berikut adalah TF model tangki bawah dengan masukan dan keluaran berupa laju aliran air.

$$F(s) = \frac{1}{RCs+1}$$

3.1.3 Pemodelan Pompa

Pompa merupakan alat yang berguna untuk mengalirkan Air dari tangki penampungan(bawah) ke tangki penyimpanan (atas). Pemodelan pompa dilakukan untuk mendapatkan nilai *gain* dari pompa. Persamaan *gain* dari pompa ini sebanding dengan rentang keluaran pompa (cm^3/s) per rentang masukan pompa (V). Sehingga persamaannya menjadi:

$$K1 = \frac{\text{Rentang debit air yang dihasilkan pompa } (\frac{\text{cm}^3}{\text{s}})}{\text{Rentang masukan pompa (V)}} \quad (3.11)$$

3.1.4 Pemodelan Pipa

Pipa merupakan jalur transmisi yang digunakan untuk menghubungkan Aliran air yang menuju tangki. Aliran air pada pipa ini akan menjadi waktu tunda untuk air mengisi tangki. Sehingga, akan ada jeda waktu ketika pompa dihidupkan dengan sensor *Level* mulai melakukan pembacaan. Waktu tunda ini sebesar α dapat ditentukan dengan:

$$\alpha = \frac{L \cdot A}{Q_0} \quad (3.12)$$

Keterangan:

- L : Panjang pipa (cm)
- A : Luas Penampang Pipa (cm^2)
- Q_0 : Debit air yang masuk pipa (cm^3/s)

Transformasi Laplace dari fungsi waktu yang tertunda sebesar α adalah $e^{-\alpha s}$.

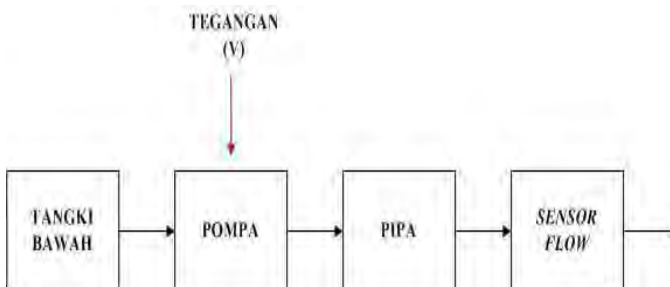
3.1.5 Pemodelan Sensor *Flow*

Pada *plant* ini, juga terdapat sensor *flow* yang berfungsi untuk membaca debit air yang melewati pipa. Sensor ini merepresentasikan debit air yang masuk ke pipa. Dengan mengetahui debit air yang masuk ke pipa, akan lebih mudah untuk mengolah *data error* oleh kontroler untuk menjalankan aktuator berupa *servo valve*. Sensor *flow* ini menggunakan prinsip *encoder* dimana terdapat *infrared* dan *phototransistor* yang akan membaca pergerakan dari baling-baling yang diputar oleh aliran air yang lewat. Keluaran sensor ini berupa sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang dikonversikan kedalam bentuk tegangan 0-10 V atau arus 4-20 mA. Oleh karena itu, sama dengan sensor *Level*, persamaan matematik untuk sensor *flow* ini adalah tegangan keluaran sensor dibanding dengan debit air yang dapat lewat pada sensor.

$$K3 = \frac{\text{Tegangan Keluaran (V)}}{\text{Debit Air yang lewat (} \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \text{)}} \quad (3.13)$$

3.1.6 Pemodelan Sistem Pengaturan Laju Aliran Air (*Flow*)

Laju Aliran Air adalah merupakan volume air yang mengalir melalui pipa-pipa yang terhubung dari satu tempat ke tempat lain dalam satuan waktu(s). dimana pada proses ini sistem pengaturan laju aliran air dimulai dari tangki bawah sebagai tempat penampungan air, lalu dialirkan menggunakan pompa sebagai pengantar air dan melewati sensor *flow* yang nantinya terbaca berapa besar aliran air yang melewati sensor.



Gambar 3.3 Blok Diagram Pemodelan Sistem Pengaturan *flow*

Fungsi alih:

$$F_{total}(s) = \frac{K1.Rin.K2}{RCS+1} \cdot e^{-\theta s} \tag{3.14}$$

3.1.7 Pemodelan Sistem Pengaturan *Level* Air

Level Air adalah merupakan ketinggian yang terdapat pada tempat tertentu dan dilihat berapa ketinggian air pada tempat tersebut.dimana pada proses ini sistem pengaturan *Level* air dimulai dari pompa yang mengalirkan air melalui pipa penghubung, lalu melalui valve dengan bukaan tertentu lalu masuk kedalam tangki penampungan, didalam tangki penampungan terdapat sensor *Level* yang menunjukan berapa besar ketinggian air pada tangki penampungan tersebut



Gambar 3.4 Blok Diagram Pemodelan Sistem Pengaturan *Level*

Fungsi alih:

$$G_{total}(s) = \frac{K1.K2.Rin.R}{RCS+1} e^{-\theta s} \tag{3.15}$$

Tabel 3.1 Nilai Parameter komponen *Plant*

No	Parameter	Nilai
1	Rentang Debit Air Yang Dikeluarkan Pompa	0-13,2 L/min
2	Rentang Masukan Pompa	0-12 V
3	Diameter Pipa	1 cm

4	Panjang Pipa dari pompa ke tangki	292 cm
5	Panjang Pipa dari pompa ke servo valve	157,5 cm
6	Rentang tegangan keluaran sensor <i>Level</i>	0-10 V
7	Rentang ketinggian air dalam tangki	0-70 cm
8	Rentang tegangan keluaran sensor <i>flow</i>	0-5 V
9	Rentang laju aliran air sensor <i>flow</i>	0-16 L/min
10	Volume tangki (p.l.t)	18.13.14,5
11	Ketinggian air saat titik kerja (ho)	7,5 cm
12	Debit air saat titik kerja (Qo)	13,7 cm ³ /s

3.1.8 Penghilangan *Delay* pada Sistem Pengaturan *Flow* dan *Level*

Pada perhitungan pemodelan didapatkan sebuah sistem dari pengaturan *Level* dan *flow* dengan $G_{total}(s)$ untuk *Level* dan $F_{total}(s)$ untuk *Flow*. Akan tetapi masih terdapat *Delay* pada pemodelan matematika tersebut, oleh karena itu dibutuhkan cara untuk menghilangkan *Delay* tersebut maka digunakannya sebuah metode “Limiting Behavior Of First Order System In Series” yang nantinya diharapkan dapat menghasilkan pemodelan matematika tanpa *Delay*.

$$e^{-\theta s} = \frac{1}{\left(\frac{\theta}{N} s + 1 \right)^N} \quad (3.16)$$

Keterangan:

θ : Waktu Tunda (sec)

N : Orde pendekatan

Berdasarkan parameter yang telah didapatkan, maka dapat dihitung model matematika dari sistem pengaturan *Level* dan pengaturan *flow* yaitu:

1. Sistem Pengaturan *Level*

$$G_{total}(s) = \frac{K1.K2.R_{in}.R}{RCs+1} e^{-\theta s}$$

$$G_{total}(s) = \frac{\frac{220}{12} \cdot 0,17 \cdot 0,034}{0,034 \cdot 2,234s + 1} e^{-1,04s}$$

$$G_{total}(s) = \frac{0,105}{7,96s+1} e^{-1,04s} \quad (3.17)$$

2. Sistem Pengaturan Flow

$$F_{total}(s) = \frac{K1.K2.R_{in}.K2}{RCs+1} e^{-\theta s}$$

$$F_{total}(s) = \frac{0,12 \cdot \frac{220}{12}}{0,034 \cdot 234s+1} e^{-0,56s}$$

$$F_{total}(s) = \frac{1,46}{7,96s+1} e^{-0,56s} \quad (3.18)$$

1.2 Perancangan Kontroler Menggunakan *Linier Quadratic Gaussian* (LQG)

Pada tahap ini simulasi *plant* Model matematika pada pemodelan fisik *plant*, didapatkan persamaan seperti (3.17) dan (3.18) akan tetapi masih terdapatnya *Delay* pada persamaan yang didapatkan berupa Transfer Function, *Delay* ini harus dihilangkan karena dapat memperlambat respon untuk sampai titik yang diinginkan. Maka itu digunakan penghilang *Delay* dan didapatkan:

Sistem Pengaturan *Level*

$$G(s) = \frac{0,91}{8,27s^2+9s+1} \quad (3.19)$$

Sistem Pengaturan Flow

$$F(s) = \frac{1,46}{4,45s^2+8,52s+1} \quad (3.20)$$

Dari persamaan diatas , terdapat 2 *loop* berbeda yaitu *loop* dalam dan *loop* luar, oleh karena itu langkah awalnya harus menghitung terlebih dahulu *loop* dalam atau *loop* untuk pengaturan flow kemudian digabungkan dengan *loop* luar atau *loop* untuk pengaturan *Level*. kemudian didapatkan persamaan transfer function untuk persamaan diatas yaitu:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1,46}{36,8s^4 + 110,51s^3 + 84,93s^2 + 12,66s + 1,39} \quad (3.21)$$

Maka di dapatkan matriknya yaitu:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}1 \\ \dot{x}2 \\ \dot{x}3 \\ \dot{x}4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -110,51 & -84,93 & -12,66 & -1,39 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \\ x4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \\ x4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} u$$

Dari persamaan model matematika yang telah dihitung Sehingga di peroleh persamaan matriks dari nilai *Transfer Function* yang diubah kedalam *state space* menggunakan Matlab dengan perintah [A, B, C, D] = tf2ss (num, den). Maka didapatkan nilai A,B,C dan D yaitu:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}1 \\ \dot{x}2 \\ \dot{x}3 \\ \dot{x}4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.0030 & -2.3079 & -0.3440 & -0.0378 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \\ x4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.0397 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}$$

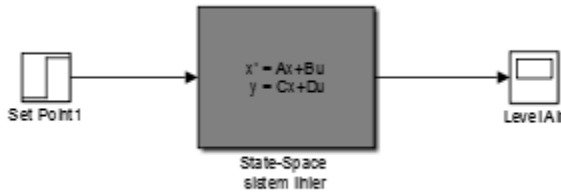
Setelah mengubah matrik A, B, C, dan D pada bentuk *state space*. Dapat diketahui nilai *Input* dan *Output* yang didapat dari pemodelan *plant* yaitu:

$$X = [75]$$

$$Y = [75]$$

$$U = [-7.3636 \quad -8.5982 \quad -4.3082 \quad -0.7528]$$

Dari *Input* dan *Output* yang didapat maka disimulasikan kedalam matlab :



Gambar 3.5 Simulasi *Openloop Plant*

Penelitian ini menggunakan kontroler dengan metode *Linier Quadratic Gaussian* (LQG). Kontroler ini berguna untuk menjaga keseimbangan nilai *Level* sesuai dengan *Set Point*. Baik saat diberikan beban atau pada saat keadaan tanpa beban. Yang pada akhirnya nantinya nilai *Level* berada pada nilai *Set Point*.

Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari nilai matriks pembobot Q dan R . Matriks Q dan R ini harus berupa matrik dengan dimensi yang benar. Penentuan matrik Q dan R ini menggunakan sistem *Trial and error*, dimana untuk mencoba – coba matriks yang sesuai hingga dapat menemukan nilai Q dan R yang baik dan benar – benar dapat mencapai nilai *Set Point* yang telah ditentukan. Pada tahap mencoba – coba didapatkan nilai Q dan R yang sesuai yaitu:

$$Q = \begin{bmatrix} 10000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix}$$

$$R = [0]$$

Setelah menentukan matriks pembobot langkah selanjutnya adalah memasukkan persamaan matrik kedalam persamaan Aljabar Ricatti Equation:

$$-PA - A^T P - Q + PBR^{-1}B^T P = 0 \quad (3.22)$$

Perhitungan untuk mencari matrik P dapat menggunakan salah satu fungsi yang ada di Matlab yaitu:

$$P = \text{are}(A, B * R I * B^T, Q) \quad (3.23)$$

Dimana A^T akan dikalikan nilai P yang dicari, lalu ditambahkan nilai P dikalikan nilai A, kemudian dikurang nilai B dikalikan nilai R^{-1} dikalikan nilai B^T dan juga B lalu ditambahkan Q.

Dari persamaan 3.23 didapatkan matrik P sebagai berikut.

$$P = \begin{bmatrix} 0.0098 & 0.0115 & 0.0057 & 0.0010 \\ 0.0115 & 1.1769 & 0.5836 & 0.1012 \\ 0.0057 & 0.5836 & 0.5745 & 0.1012 \\ 0.0010 & 0.1012 & 0.1170 & 0.0578 \end{bmatrix}$$

Dari persamaan 3.23 didapatkan matrik P yang selanjutnya akan digunakan untuk mencari matrik K. Matrik K didapatkan melalui persamaan 3.24.

$$K = R^{-1}B^T P \quad (3.24)$$

Keterangan:

R^{-1} : R inverse (R=inv)

B^T : B Transpose (B=transpose)

P : Nilai yang didapat dari persamaan Riccati

Dari persamaan 3.24 didapatkan matrik K sebagai berikut.

$$K = [98.1815 \quad 114.6428 \quad 57.4429 \quad 10.0379]$$

Dari persamaan 3.23 didapatkan sinyal kontrol berupa U, untuk mencari nilai U sendiri dapat menggunakan persamaan 3.25.

$$u = -Kx \quad (3.25)$$

Keterangan:

K : Nilai yang didapat dari persamaan

X : Nilai yang telah ditentukan sebagai *Set Point*

Dari persamaan 3.25 didapatkan matrik U sebagai berikut:

$$U = [-7.3636 \quad -8.5982 \quad -4.3082 \quad -0.7528]$$

Keterangan:

R^{-1} : R inverse (R=inv)

B^T : B Transpose (BT=transpose(B))

P : Nilai yang didapat dari persamaan Riccati

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai Filter kalman sebagai , pembacaan nilai yang mengubah nilai *Output* yang terdapat *noise* agar dapat mengikuti nilai *Set Point* .Untuk mendapatkan nilai filter kalman, dicari nilai L untuk memenuhi nilai persamaan yaitu:

$$L = PC^T R^{-1} \quad (3.26)$$

Keterangan:

C^T : C Transpose (CT=transpose(C))

R^{-1} : R inverse (R=inv)

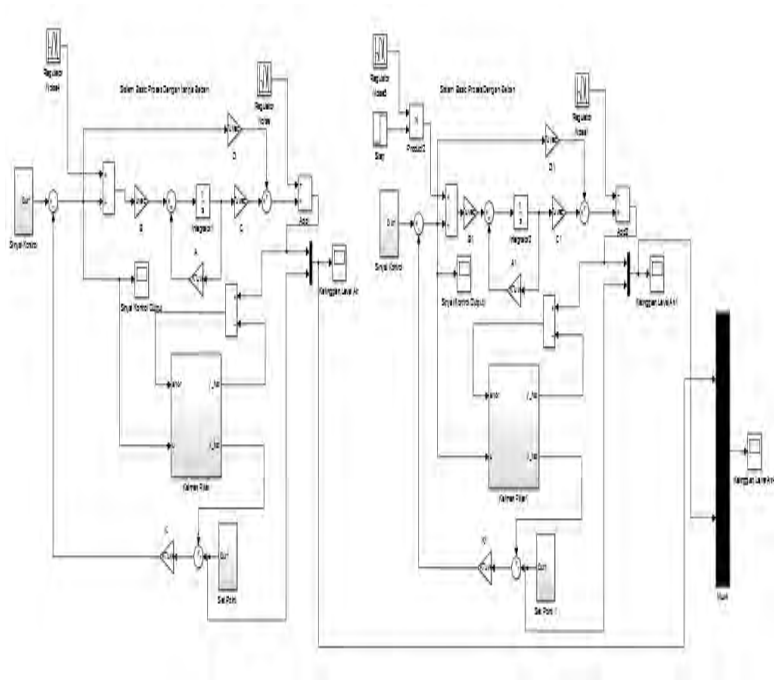
P : Nilai yang didapat dari persamaan Riccati

Dari persamaan 3.26 didapatkan sinyal kontrol berupa L, untuk mencari nilai L sendiri didapatkan matrik L sebagai berikut.

$$L = \begin{bmatrix} 0.3624 \\ 36.5320 \\ 42.2226 \\ 20.8617 \end{bmatrix}$$

Setelah mendapatkan variabel yang dibutuhkan untuk merancang kontroler, langkah selanjutnya adalah membuat model kontroler pada simulink.

Simulasi *plant linier* pada gambar 3.6 dilakukan dengan cara menggabungkan matrik *state space* dengan kontroler LQG. Matrik x digunakan sebagai masukan untuk *plant*. Setelah melalui matrik K yang merupakan kontroler LQG. Nantinya sinyal *Output* akan filter melalui filterman apakah terjadi *noise* atau tidak , apabila terjadi *noise* maka akan difilter begitu seterusnya,Dengan memasukkan u sebagai pembanding yang menghasilkan sinyal kontrol. Apabila terjadi gangguan pada *plant* atau nilai sinyal kontrol kurang sesuai dengan yang diinginkan maka K akan memperbaikinya. Proses tersebut berulang hingga mendapatkan keluaran yang sesuai dengan *Set Point*.



Gambar 3.6 Simulasi *Plant* dengan Kontroler LQG

Simulasi diatas merupakan perbandingan dari *plant* yang diberikan *noise* dan tanpa *noise*. Dari simulasi nantinya akan dilihat respon yang didapat dari kedua hasil, apakah hasil sesuai dengan *set point* atau tidak. Kemudian nanti akan dianalisa apakah sesuai atau apabila tidak sesuai apa yang mempengaruhi *plant*.

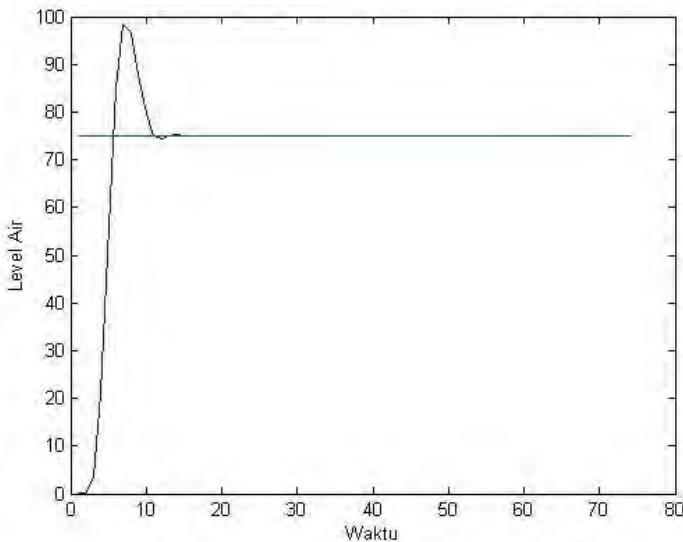
BAB IV

SIMULASI DAN ANALISA DATA

Berdasarkan metodologi dan perancangan sistem yang telah dilakukan dan dibahas pada Bab III, maka selanjutnya dilakukan proses implementasi terhadap sistem perancangan dan *plant* dengan cara mensimulasikan sistem, kemudian dari hasil yang diperoleh beberapa analisa.

1.1 Simulasi *Plant* Pengaturan *Level* dan *Flow*

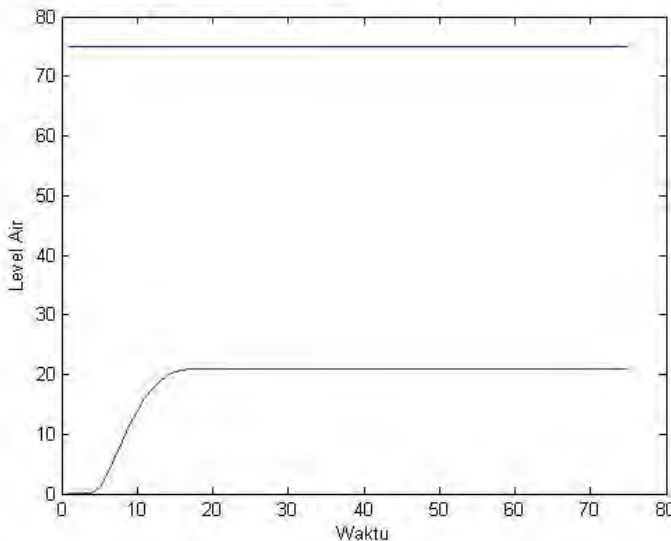
Pada tahap ini simulasi *plant* dilakukan. Model matematika pada pemodelan fisik *plant* yang telah didapat, terdapat model matematika yang berupa persamaan .Persamaan tersebut disimulasikan pada simulink yang ada pada *software* Matlab.



Gambar 4.1 Respon *Innerloop*

Pada simulasi *Innerloop* ini dilakukan pengujian untuk *loop* dalam, dimana *loop* ini menggunakan kontrol PI sebagai kontroler dalamnya, yang nantinya didapatkan respon. Akan tetapi terdapat overshoot sesaat

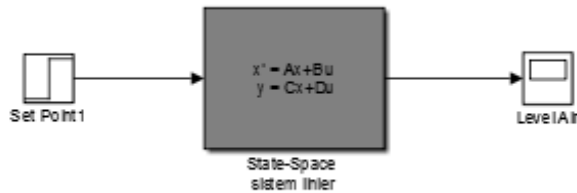
lalu kembali ke setpoint yang ditentukan. *loop* dalam ini harus lebih cepat dibanding dengan *loop* luar, minimal 3 kali lebih cepat dibanding *Loop* luar, dimana untuk *loop* dalam mempunyai $t_s=6$ s.



Gambar 4.2 Respon *Outerloop*

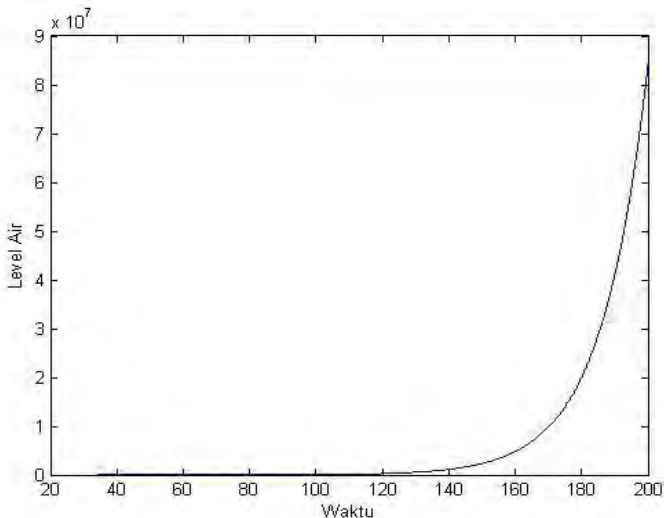
Pada simulasi *Outerloop* digunakan tanpa kontroler atau langsung melihat respon yang didapat, disini dapat terlihat bahwa $t_s=21$ s untuk dapat dalam kondisi *state* kemudian stabil.

Simulasi *Openloop* bertujuan untuk mengetahui respon *plant* untuk dibandingkan dengan respon yang telah diberikan kontroler. disini transfer function untuk *flow* dan *Level* diseri kane tau dikalikan sehingga mendapatkan persamaan baru yang nantinya akan dikontrol, akan tetapi disini tidak digunakan kontroler, jadi persamaan ini langsung diseri kane. lalu proses selanjutnya akan dioptimalkan. Sehingga dari persamaan ini didapat persamaan *state space* yang kemudian akan dikontrol.



Gambar 4.3 Simulasi *Openloop Plant*

Simulasi *plant* ini menggunakan matrik *state space* hasil penurunan dari persamaan *plant*. Simulasi *linier* berupa simulasi *Openloop*, terdiri dari sumber step, matrik *state space* dan scope untuk menampilkan hasil. Gambar 4.3 merupakan respon *Openloop plant* dengan *Set Point* 75. Dimana belum mencapai kestabilan.



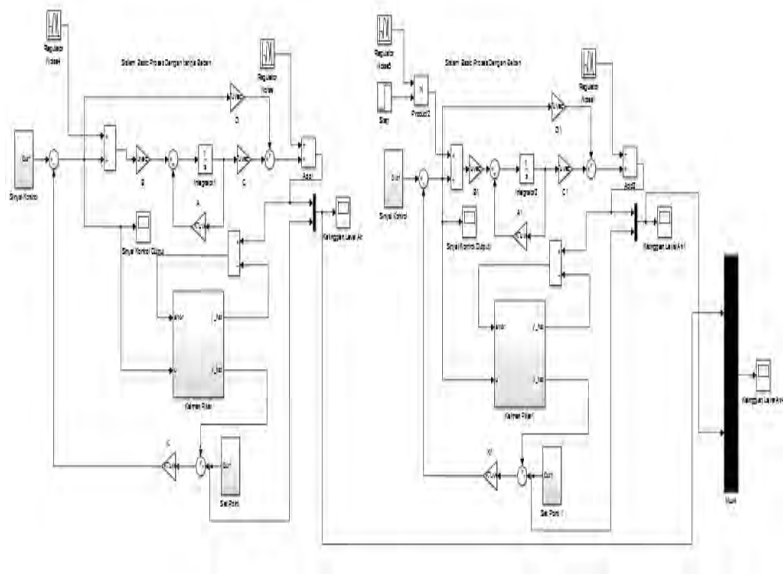
Gambar 4.4 Respon *Openloop Plant*

Dari hasil respon *Openloop* dapat dilihat bahwa masih belum mencapai kestabilan, dengan waktu simulasi sebesar 20 detik dengan

sinyal kontrol 0.7528 diharapkan nantinya dapat sesuai dengan *Set Point* dimana dengan 20 detik baru meningkat.

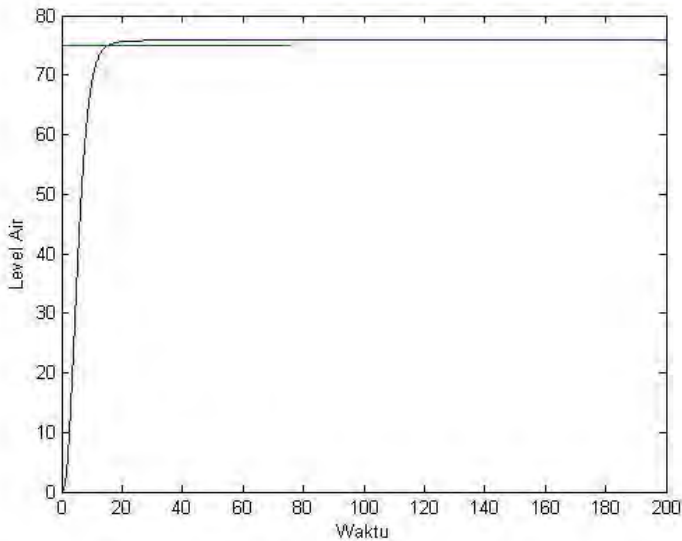
1.2 Simulasi *Plant Flow* dan *Level* Menggunakan Kontrol LQG

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui hasil respon dari *plant* apabila dipasang kontroler LQG. Matrik *state space* yang telah diketahui digabungkan dengan kontroler LQG yang berupa *gain feedback*. Mempunyai masukan berupa matrik x dan juga matrik u . Respon dari *plant* dapat dilihat pada scope yang berfungsi sebagai *display*. nantinya juga ada Filter Kalman yang berguna untuk menghilangkan *noise* pada *Output* sistem dengan L sebagai nilai yang dicari terhadap sistem.



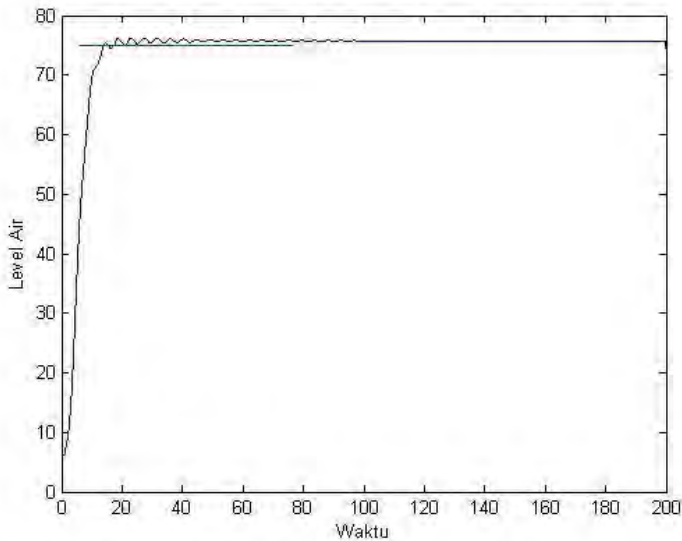
Gambar 4.5 Simulasi *Plant* dengan Kontroler LQG

Dari simulasi digunakan 2 pebandingan dengan adanya *Regulator Noise* sebagai pembeban dan tanpa adanya *noise* sebagai pembeban, Yang nantinya dibandingkan antara kedua hasil tersebut.



Gambar 4.6 Respon Ketinggian air menggunakan kontroler tanpa Beban

Gambar 4.6 merupakan respon ketinggian air. Mempunyai waktu simulasi 21 detik *plant* telah mencapai kestabilan. Respon stabil ini mendekati nilai *Set Point* yaitu respon pada *plant* untuk mengisi tangki sangat cepat, Untuk simulasi diatas level air merupakan tinggi tangki yang diinginkan agar stabil pada ketinggian tertentu.



Gambar 4.7 Respon Ketinggian air menggunakan kontroler dengan *Beban*

Gambar 4.7 merupakan respon ketinggian air. Mempunyai waktu simulasi 21 detik *plant* telah mencapai kestabilan. Respon stabil ini mendekati nilai *Set Point* yaitu respon pada *plant* untuk mengisi tangki sangat cepat dengan adanya gangguan pada beban, kecepatan untuk kembali kepada kondisi dimana saat terjadi pembebanan selama beberapa detik lalu kembali stabil kembali.

KESIMPULAN

Tugas Akhir ini membahas tentang penggunaan Kontrol Optimal LQG pada sistem Pengaturan *Level* dan Laju Aliran air pada proses rig 38-100 didapatkan bahwa parameter dari *Level* air ini sesuai dengan *Steady-state* atau dapat dikatakan stabil, ketika diberi pembebanan pada *Output*.

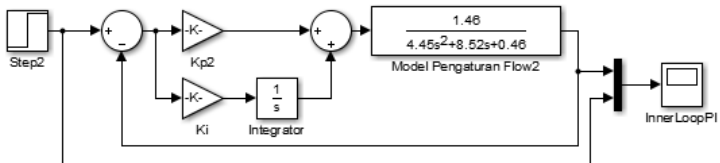
1. Penentuan *gain* atau nilai K dilakukan dengan pemilihan matrik Q dan R yang tepat sehingga didapatkan nilai *gain* umpan balik yang sesuai dengan yang diinginkan.
2. Dengan respon *Output* yang telah sesuai dengan tujuan awal untuk mengatur *Level* air agar tetap stabil pada *Set Point* yang ditentukan yaitu pada ketinggian 75.

DAFTAR PUSTAKA

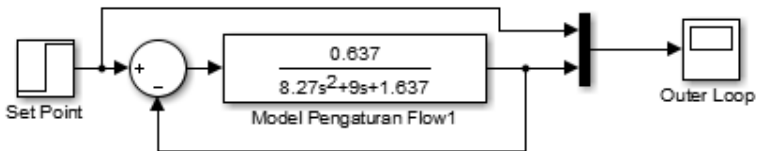
- [1] Naidu, D. S, “*Optimal Control System*”, CRC Press, Florida, Ch. 1&3, 2000.
- [2] Lewis, F. R, “*Optimal Control*”, John Wiley & Son, Inc, New York, Ch. 3, 1995..
- [3] Johnson, D.C, Process Control Instrumentation Technology, Prentice-Hall, Inc, 2003.
- [4] Oggunnaike, A.Babatunde, “*Process Dynamics.Modeling and Control*”, New-York: University Oxford, 1994.
- [5] Fardo, Stephen., Patrick Dale, Industrial Process Control System Second Edition, The Fairmont Press, Inc, 2009.
- [6] Mikles, J., Fikar, M., Process Modeling Identification, and Control, STU Press Bratislava, 2004.
- [7] Katsuhiko Ogata, *Modern Control Engginering*, 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1997.
- [8] Katsuhiko Ogata, *Modern Control Engginering*, 5th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2010.
- [9] Kevin M. Pasino dan Stephen Yurkovich, Fuzzy Control. California: Addison Wesley Longman, 1998.
- [10] Burl, Jeffrey B. 1999. *Linear Optimal Control: H₂ and H_∞ Methods*. Menlo Park CA: Addison Wesley Longman
- [11] Adila, Virtu, “Pengendalian Rasio Bahan Bakar dan Udara Pada Boiler Menggunakan Metode Kontrol Optimal *Linier Quadratic Regulator* (LQR)”, ITS, 2013

LAMPIRAN

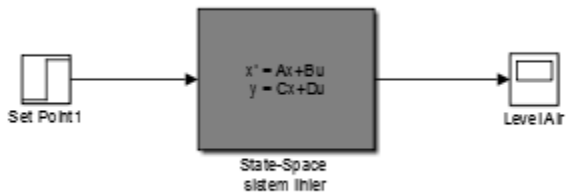
A. Lampiran A (*LADDER DIAGRAM*)



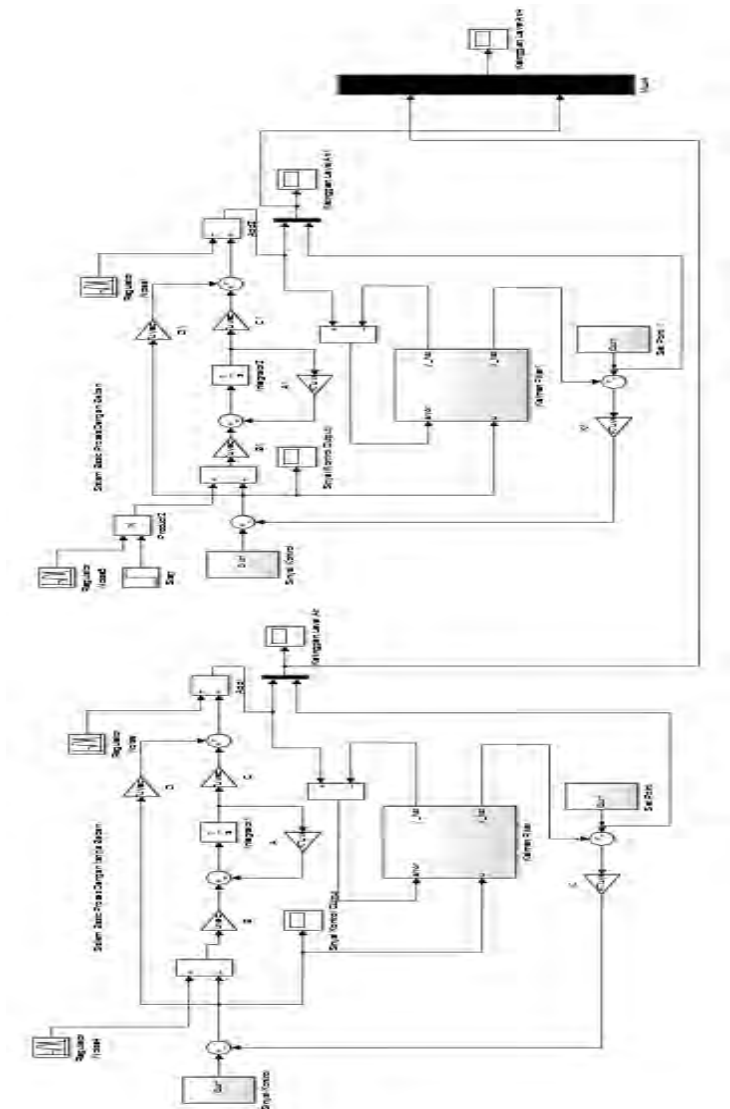
Gambar A.1 Blok Program *InnerLoop*



Gambar A.2 Blok Program *OuterLoop*



Gambar A.3 Blok Program *OpenLoop Plant*



Gambar A.4 Blok Program *Level* dan *Flow* dengan Kontrol LQG

B. Lampiran B (*PROGRAM*)

```
%Nilai ABCD yang didapatkan dari perubahan
Transfer Funtion to State Space
A=[-3.0030 -2.3079 -0.3440 0.0378;1 0 0 0;0 1 0
0;0 0 1 0];
B=[1;0;0;0];
C=[0 0 0 0.0361];
D=[0];

%Nilai Output Plant yang diinginkan
X=[75];

%Matrik Pembobotnya
Q= [10000 0 0 0;0 2000 0 0;0 0 1000 0; 0 0 0
100];
R = [1];

%Nilai Noise
Qa = [0 0 0 0;0 25 0 0;0 0 75 0;0 0
0 100];
Ra = [0 0 0 0;0 25 0 0;0 0 75 0;0 0
0 100];

%Rumus-Rumus untuk mendapatkan nilat Ricatti
equation
%[A^TP+PA-PBR^-1B^TP+Q=0]
RI=inv (R);
BT=transpose(B);
AT=transpose(A);
CT=transpose(C);
P = are(A,B*RI*BT,Q);

%Mencari nilai K dengan Indeks Performansi yang
dipilih
%[K=R^-1B^T]
K = RI*BT*P
```



```
%Menentukan sinyal kontrol
```

```
U = -K*X
```

```
%Menentukan Nilai Filter Kalman
```

```
L = P*CT*RI
```

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap M. Fadli Husaini lahir di Jakarta, Provinsi DKI Jakarta pada tanggal 22 Desember 1993. Penulis merupakan anak Kedua dari Dua Bersaudara, Penulis Menamatkan Sekolah Dasar di SDN Sudimara 03 Ciledug, Tangerang, kemudian melanjutkan ke SMP Islam Al-Azhar Jakarta Barat. Untuk jenjang SMA penulis menyelesaikan sekolahnya di SMA Terpadu Hayatan Thayyibah Sukabumi, Jawa Barat. Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan pendidikan Diploma III Elektro Computer Control di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Setelah menamatkan Diploma III, penulis melanjutkan studi Strata-1 Lintas Jalur di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2014. Spesialis bidang studi yang ditekuni oleh penulis adalah Teknik Sistem Pengaturan. Pada bulan Juni 2016 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS Surabaya sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro.

Email: fadlihusaini101@gmail.com